

Darf 's a bisserl falsch sein?

Helmut Kühnelt

Zugegeben, das ist eine provokante Frage. Gibt es denn völlig richtige Antworten? So war es nicht gemeint. Oft hört man aber: "Ich weiß, das ist nicht ganz korrekt, doch für 12jährige reicht es, die verstehen die richtige Antwort nicht..."

Was ist an dem Argument dran? Wo liegen die Tücken und stimmt es denn überhaupt?

Zunächst sehe ich folgende Gefahr: Mit 12 Jahren erhält man für ein Phänomen eine schwer (eigentlich: nicht) verständliche Erklärung. Nichtverständlich ist sie dadurch, dass sie allzu sehr simplifiziert wurde und daher falsch ist. Wie soll man Falsches verstehen? Später heißt es bei neuerlicher Begegnung mit dem Phänomen: "Das habt Ihr doch schon mit 12 gelernt, darüber brauchen wir uns nicht mehr zu unterhalten." Und so geht es weiter: Auf der Uni wird dies zum Kindergartenstoff erklärt, nicht behandelt und mit dem im Alter von 12 Jahren mühsam eingelernten Missverständnis betreten die Junglehrer wieder das Schulgebäude. Damit schließt sich der Kreis, die halbverstandene Erklärung wird wieder weitergegeben, in "Wissen für Kinder" als populäres Buch auch noch an Eltern weitergegeben - und der Eindruck, dass Physik schwer verständlich, ja eigentlich unverständlich sei, wird jeder Generation vermittelt.



Nehmen wir ein konkretes Beispiel, das durch ein von Schülerinnen gestaltetes und kommentiertes Blatt eines Kalenders mit physikalischen Phänomenen angeregt wurde. Eine ähnliche Zeichnung und eine Arbeitsanleitung, aus der ich im Folgenden frei zitieren werde, hatten mich zuvor bereits für das Thema sensibilisiert:

Wie kommt es zur Wolkenbildung?

Auf dem Arbeitsblatt war eine (allzu) detaillierte Landschaft mit Meer, Flüssen, Seen und schneebedeckten Gebirgen zu sehen. Der Text lautete etwa: "Die Sonne verdunstet Wasser, der Wasserdampf steigt auf..." Vertikale Wellenlinien sollten den aufsteigenden Wasserdampf andeuten. Da liegt die erste Problematik: Wasserdampf - Wasser im gasförmigen Zustand - ist unsichtbar.

Weiters steigt nicht reiner Wasserdampf, sondern ein Gemisch aus warmer Luft und gasförmigem Wasser auf. Die Dichte von "feuchter" Luft ist entgegen populären Erwartungen geringer als jene von "trockener" Luft. Die aus der Flüssigkeit verdampften Wassermoleküle verdrängen nach Avogadro andere Moleküle der Luft, sie kommen nicht zu den vorhandenen hinzu - Luft verhält sich nicht wie ein trockener Badeschwamm, den man mit Wasser tränken kann! - und die Massenzahl von H_2O ist 18 kleiner als bei N_2 und O_2 . Was man landläufig als Dampf bezeichnet, ist physikalisch gesehen kein Dampf, sondern Nebel, kondensierte Wassertropfchen. Auch direkt über der Oberfläche eines Topfs mit siedendem Wasser ist kein "Dampf" zu sehen, erst etwas oberhalb, wenn das feuchte Gemisch etwas abkühlen konnte. Was also umgangssprachlich als Wasserdampf bezeichnet wird, ist in der Sprache der Naturwissenschaft keiner!

Durch die geringere Dichte des warmen Gasgemisches aus Luft und Wasserdampf steigen Pakete dieses Gemisches in der umgebenden trockeneren (und daher dichteren) Luft auf. Keineswegs wirkt die Schwerkraft auf die warme feuchte Luft weniger stark - dies konnte ich kürzlich überraschenderweise aus Physikermund hören.

Der weitere Weg des Wasserdampfs war so beschrieben: "Er steigt auf, bis er in größerer Höhe in den Bereich kalter Luft gerät und dort abkühlt und durch Kondensation Wolken bildet." Wieder ein völlig falsches Bild: Die Höhenluft als kalter Wickel, der die Wolkenbildung durch Abkühlung einleitet!?

Das Gegenteil ist wahr: Beim Aufsteigen eines Paketes feuchter warmer Luft dehnt sich das Paket aus und kühlt dabei ab, tauscht aber keine Energie mit der Umgebung aus - man spricht von adiabatischer Abkühlung. Jedes Kind kann dies beim Auslassen eines Fahrradschlauches beobachten. Wird allerdings dabei der Taupunkt unterschritten, also jener Punkt, an dem die relative Luftfeuchte 100% erreicht und der Partialdruck des Wasserdampfs dem Umgebungsdruck entspricht, beginnt bei Vorhandensein von Kondensationskeimen die Tröpfchenbildung, es entstehen Wolken. (Erforderlich sind dazu Aerosole, kleine Partikel in der Luft. Der Dampfdruck ist bei kleinen Tropfen, d.h. bei wenigen Partnern pro Molekül, die es im Tropfen halten könnten, größer als bei großen Tropfen - sie verdampfen sofort wieder. Hygroskopische Partikel, etwa kleine Steinsalzkristalle, ermöglichen das Wachsen größerer Tröpfchen.)

Beim Kondensieren geschieht aber etwas ganz Interessantes: Die zuvor zum Verdampfen aufgewandte Energie wird beim

Kondensieren wieder frei: Die freigesetzte Energie heizt die Wolke auf. Während der sogenannte Adiabatengradient, also die Temperaturabnahme mit der Höhe für trockene Luft etwa 1°C pro 100 m beträgt, so sinkt er für feuchte Luft auf etwa 0,5°C pro 100 m, solange noch Wasserdampf vorhanden ist, der kondensieren kann. Die dadurch aufgeheizte Wolke hat wieder eine geringere Dichte als die trockenere umgebende Luft und steigt dadurch weiter in die Höhe, bis die Energiequelle Kondensation aufgezehrt ist. Dadurch entstehen die hochreichenden Wolkentürme mit ihrer Thermik.

Damit lässt sich auch der Föhn an der Lee-Seite von Gebirgen verstehen. Auf der Luv-Seite muss die feuchte Luft in der Strömung wegen der Topografie aufsteigen. Bei der damit verbundenen feucht-adiabatischen Abkühlung von 0,5°C je 100 m ist die Luft auch bei einem Aufstieg auf 3000 m nur um 15°C abgekühlt. Sie trocknet aber durch den Niederschlag auf der Stauseite. Bei ihrem Fließen über den Gebirgskamm hat sie wegen ihrer geringen Feuchte eine hohe Dichte und stürzt - wie der bildliche Stein, siehe Föhn am Patscherkofel - in die umgebende weniger dichte Luft. Bei Abstieg in Talnähe er-

wärmt sie sich jedoch mit 1°C pro 100 m, bei einer angenommenen Fallhöhe von 3000 m also um 30°C und kommt gegenüber der Stauseite um 15°C wärmer herunter.

Weiteres und vor allem detailliertere Überlegungen zur Luftfeuchte sind im Artikel "Dampf und Tropfen" von Roman Dengler in PLUS LUCIS 3/97 (s. <http://pluslucis.univie.ac.at/PlusLucis/973/dengler.pdf>) zu finden.

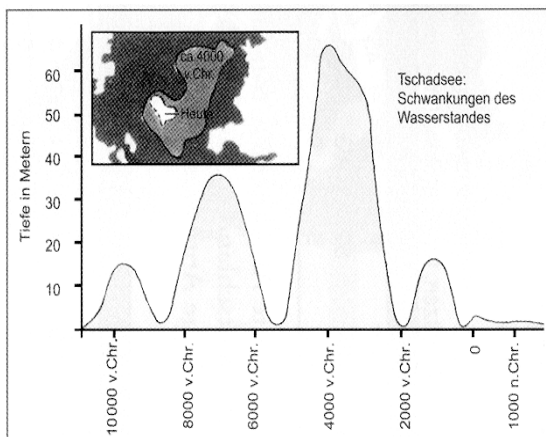
Das Vorstellung vom kalten Wickel ist auch in einem an sich schönen Freihandexperiment zu vermuten, das die Kondensation von aufsteigendem Wasserdampf an einem kalten Körper (im Experiment eine mit Eiswasser gefüllte PET-Flasche) demonstriert. Zur Erklärung der Wolkenbildung sollte es nicht herangezogen werden.

Ist es nicht faszinierend zu verstehen, wie Energietransport von der aufgeheizten Erdoberfläche in die Atmosphäre möglich ist? Ist die immer noch vereinfachte, aber richtigere Erklärung 12-Jährigen unzumutbar? Bieten sich hier nicht schöne Gelegenheiten zu Beobachtungen und einfachen Experimenten, zu Fragen und Hypothesenbildung?

PISA-Beispiel Tschadsee

Aufgabe zur Lesekompetenz

Text und Bilder aus: PISA 2000 Nationaler Bericht, hrsg. von Günter Haider und Claudia Reiter. Studienverlag Innsbruck
Die erste Abbildung zeigt die Schwankungen des Wasserstandes des Tschadsees in der Sahara. Während der letzten Eiszeit, etwa 20000 v. Chr. verschwand der Tschadsee vollständig. Um etwa 11000 v. Chr. entstand er wieder neu. Heute hat er etwa den gleichen Wasserstand wie im Jahre 1000 n. Chr.



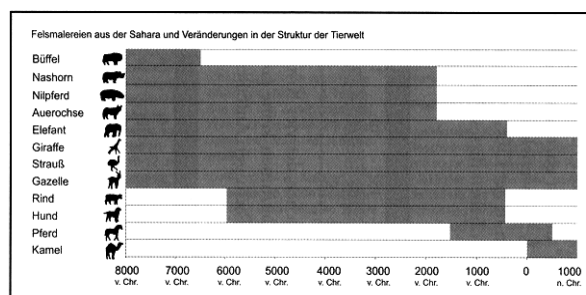
Frage 1: Wie tief ist der Tschadsee heute?

- A. Etwa zwei Meter.
- B. Etwa fünfzehn Meter.
- C. Etwa fünfzig Meter.
- D. Er ist vollständig verschwunden.
- E. Diese Information ist nicht vorhanden.

Die richtige Antwort A gaben 69% unserer Schüler (internationaler Schnitt: 65%). 17% wählten die Antwort E.

Frage 2: In welchem Jahr beginnt das Diagramm in der obigen Abbildung?

Die richtige Antwort "11000 v. Chr." gaben 56% der österreichischen Schüler (international: 51%, Finnland: 71%).



Frage 3: Warum hat sich der Autor entschieden, das Diagramm an diesem Punkt beginnen zu lassen?

Diese Reflexionsaufgabe schafften 41 % unserer Schüler (international: 37%)

Die zweite Abbildung zeigt Felsmalereien aus Höhlen der Sahara und Veränderungen in der Struktur der Tierwelt.

Frage 4: Die zweite Abbildung geht von der Annahme aus, A. dass die Tiere in den Felsmalereien in diesem Gebiet vorkamen, als die Malereien entstanden.

B. dass die Künstler, die die Tiere malten, hoch begabt waren.
 C. dass die Künstler, die die Tiere malten, weite Strecken zurücklegen konnten.

D. dass nicht versucht wurde, die abgebildeten Tiere zu zähmen.

Diese Interpretationsaufgabe schafften 83% unserer Schüler, besser als der internationale Schnitt von 77%.

Frage 5: Verbinde Informationen aus beiden Abbildungen. Das Verschwinden von Nashorn, Nilpferd und Auerochse aus den Felsmalereien geschah

A. zu Beginn der letzten Eiszeit.
 B. in der Mitte der Zeit, als der Tschadsee seinen höchsten Wasserstand hatte.

C. nachdem der Wasserstand des Sees über 1000 Jahre lang gefallen war.

D. zu Beginn einer ununterbrochenen Trockenzeit.
 Diese Interpretationsaufgabe schafften 59% unserer Schüler, knapp besser als der internationale Schnitt von 57%.